

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-357586

(43)Date of publication of application : 26.12.2000

(51)Int.Cl.

H05B 33/10
H05B 33/14

(21)Application number : 11-168822

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 15.06.1999

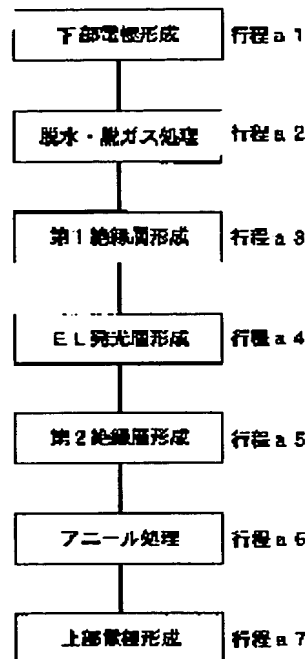
(72)Inventor : FUTABOSHI MANABU

(54) MANUFACTURE OF THIN FILM EL ELEMENT AND THIN FILM EL ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent any peeling of an EL light emitting layer and achieve high luminance by performing annealing by irradiation with an excimer laser beam.

SOLUTION: A thin film EL element is fabricated as follows: in process a1, a lower electrode made of transparent conductive or metal material is formed on an insulating glass substrate, in process a2, dehydrating and degassing are performed in a vacuum at 200-500° C for 1.5-5 hours, in process a3, a first insulating layer is formed, in process a4, an EL light emitting layer is formed, in process a5, a second insulating layer is formed, in process a6, annealing is performed by irradiation of an excimer laser beam via a mask for shielding the irradiation of a region between the adjacent lower electrodes and a marginal region of each of the lower electrodes with the beam, in process a7, an upper electrode is formed. The irradiation of the excimer laser beam after the previous discharge of gas by dehydrating and degassing can reduce gas discharge at the time of the irradiation with the excimer laser beam, thus preventing any peeling of an EL light emitting layer.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-357586

(P2000-357586A)

(43)公開日 平成12年12月26日 (2000. 12. 26)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード(参考)
H 0 5 B 33/10		H 0 5 B 33/10	3 K 0 0 7
33/14		33/14	Z

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 8 頁)

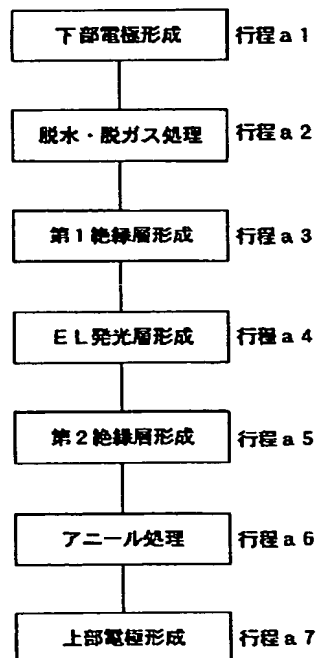
(21)出願番号	特願平11-168822	(71)出願人	000005049 シャープ株式会社 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(22)出願日	平成11年6月15日 (1999. 6. 15)	(72)発明者	二星 学 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内
		(74)代理人	100075557 弁理士 西教 圭一郎 Fターム(参考) 3K007 AB02 AB15 CA01 CB01 DA02 DA05 FA00 FA01 FA03

(54)【発明の名称】 薄膜EL素子の製造方法および薄膜EL素子

(57)【要約】

【課題】 エキシマレーザ光の照射によるアニール処理によって、EL発光層を剥離することなく、かつ高い輝度を得る。

【解決手段】 薄膜EL素子1は、工程a1で絶縁性を有するガラス基板上に透明導電性材料または金属材料から成る下部電極を形成し、工程a2で真空、200℃～500℃の雰囲気中で1.5時間～5時間脱水・脱ガス処理を行い、工程a3で第1絶縁層を形成し、工程a4でEL発光層を形成し、工程a5で第2絶縁層を形成し、工程a6で、隣接する下部電極間の領域および各下部電極の周縁領域への光の照射を遮断するマスクを介して、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理を行い、工程a7で上部電極を形成して、作製される。脱水・脱ガス処理で予めガスを放出した後、エキシマレーザ光を照射するので、エキシマレーザ光照射時のガスの放出が低減し、EL発光層の剥離が防止できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 絶縁性基板上に帯状の下部電極、第1絶縁層、EL発光層、第2絶縁層および下部電極とは直交する方向の帯状の上部電極をこの順番に積層して構成される薄膜EL素子の製造方法において、絶縁性基板上への下部電極形成後であって、第1絶縁層の形成前に、脱水・脱ガス処理工程を含み、EL発光層の形成中または形成後に、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理工程を含むことを特徴とする薄膜EL素子の製造方法。

【請求項2】 前記脱水・脱ガス処理は、真空、200℃～500℃の雰囲気中で1.5時間～5時間行われることを特徴とする請求項1記載の薄膜EL素子の製造方法。

【請求項3】 前記アニール処理工程におけるエキシマレーザ光の照射はマスクを介して行われ、該マスクは隣接する下部電極間の領域および各下部電極の周縁領域へのエキシマレーザ光の照射を遮断することを特徴とする請求項1または2記載の薄膜EL素子の製造方法。

【請求項4】 前記下部電極は、透明導電性材料から成ることを特徴とする請求項1～3のうちのいずれか1つに記載の薄膜EL素子の製造方法。

【請求項5】 前記下部電極は、金属材料から成ることを特徴とする請求項1～3のうちのいずれか1つに記載の薄膜EL素子の製造方法。

【請求項6】 請求項1～5のうちのいずれか1つに記載の製造方法によって作製されたことを特徴とする薄膜EL素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、OA（オフィスオートメーション）機器やFA（ファクトリオートメーション）機器などの表示手段として搭載される薄膜EL（エレクトロルミネセント）素子の製造方法および薄膜EL素子に関する。

【0002】

【従来の技術】OA機器やFA機器などの表示手段としての薄膜EL素子は自発光型であり、液晶素子と比べて視野角が広く、優れた視認性および高いコントラストが得られることから、フラットディスプレイとして好適に用いられる。図2に示されるように薄膜EL素子1は、絶縁性を有するガラス基板2の上に、帯状の下部電極3、第1絶縁層4、EL発光層5、第2絶縁層6および下部電極3とは直交する方向の帯状の上部電極7を形成して構成される。

【0003】図7は、薄膜EL素子の従来技術である製造方法を示す工程図である。従来技術の製造方法は工程b1～工程b6から成る。まず工程b1では、ガラス基板2の上に下部電極3が形成される。下部電極3は、透明電極膜をガラス基板2の上の全面に形成し、パターニ

ングして形成される。次の工程b2では、第1絶縁層4が形成される。第1絶縁層4は、下部電極3を覆うガラス基板2の上の全面に形成される。

【0004】続いて工程b3では、第1絶縁層4の上に母材と発光中心とを含有するEL発光層5が形成される。EL発光層5に関して、表示の輝度を左右することから、その成膜技術の向上が図られる。EL発光層5の成膜には電子ビーム蒸着法を用いるのが一般的であるが、該蒸着法による成膜段階では発光特性が充分ではなく、より高い輝度を得るために結晶性の改善が図られる。結晶性を改善するために、EL発光層形成後の工程b4では、アニール処理が実施される。アニール処理はガラス基板2の耐熱温度以下で実施されるが、真空中や特定のガス雰囲気下で加熱することなどが試みられている。また、特開平9-148070号公報にはエキシマレーザ光を照射してアニール処理することが開示されている。

【0005】アニール処理が終了すると、工程b5で、第2絶縁層6が形成される。第2絶縁層6はEL発光層5の上の全面に形成される。次の工程b6では、第2絶縁層6の上に上部電極7が形成される。上部電極7は、金属電極膜を第2絶縁層6の上の全面に形成し、パターニングして形成される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】エキシマレーザ光の照射によるアニール処理において、高い結晶性を得るためにエキシマレーザ光のエネルギー量を上昇させると、下部電極3が加熱されて、そのエッジ部分からガスが放出される。これによって、EL発光層5が下部電極3のエッジ部分から剥離してしまい、薄膜EL素子を作製することができない。一方、ガスが放出されない程度にエネルギー量を低下させると、結晶性の高い改善効果が得られない。

【0007】本発明の目的は、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理によって、EL発光層が剥離することなくかつ結晶性の高い改善効果が得られる薄膜EL素子の製造方法を提供することである。また本発明の他の目的は、このような製造方法によって作製された、EL発光層の剥離のない高い輝度特性を有する薄膜EL素子を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、絶縁性基板上に帯状の下部電極、第1絶縁層、EL発光層、第2絶縁層および下部電極とは直交する方向の帯状の上部電極をこの順番に積層して構成される薄膜EL素子の製造方法において、絶縁性基板上への下部電極形成後であって、第1絶縁層の形成前に、脱水・脱ガス処理工程を含み、EL発光層の形成中または形成後に、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理工程を含むことを特徴とする薄膜EL素子の製造方法である。

【0009】本発明に従えば、薄膜EL素子は次のようにして製造される。まず、絶縁性基板上に帯状の下部電極を形成する。次に、脱水・脱ガス処理が施される。この脱水・脱ガス処理によって下部電極が加熱され、そのエッジ部分からガスが放出される。脱水・脱ガス処理後、下部電極を覆う絶縁性基板上の全面に第1絶縁層を形成し、次に第1絶縁層の上に電子ビーム蒸着法などによってEL発光層を形成し、さらにEL発光層上の全面に第2絶縁層を形成し、最後に第2絶縁層上に前記下部電極とは直交する方向の帯状の上部電極を形成する。EL発光層の形成中または形成後において、エキシマレーザ光を照射することによってEL発光層がアニール処理され、結晶性が改善される。

【0010】このような製造方法によって作製された薄膜EL素子は、下部電極から予めガスを放出した後、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理が実施されるので、該アニール処理時に下部電極からのガスの放出が低減し、EL発光層の剥離を防止することができる。したがって、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理を行って、EL発光層の結晶性を改善して、EL発光層を剥離することなく高い輝度特性を得ることができる。また、エキシマレーザ光の照射によってEL発光層の結晶性を改善することができるので、製造プロセス温度の低温化および短縮化が図れ、製造コストを低減することが可能となる。

【0011】また本発明は、前記脱水・脱ガス処理は、真空、200℃～500℃の雰囲気中で1.5時間～5時間行われることを特徴とする。

【0012】本発明に従えば、前記脱水・脱ガス処理を上記したような条件で行うことによって、下部電極からガスを良好に放出させることができ、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理時における下部電極からのガスの放出を確実に低減することができる。したがって、EL発光層を剥離することなく、高い輝度特性を得ることができる。

【0013】また本発明は、前記アニール処理工程におけるエキシマレーザ光の照射はマスクを介して行われ、該マスクは隣接する下部電極間の領域および各下部電極の周縁領域へのエキシマレーザ光の照射を遮断することを特徴とする。

【0014】本発明に従えば、前記エキシマレーザ光の照射を上記したマスクを介して行うことによって、下部電極のエッジ部分にはエキシマレーザ光を照射しないようにすることができる。したがって、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理時における下部電極のエッジ部分からのガスの放出を確実に低減することができる。したがって、EL発光層を剥離することなく、高い輝度特性を得ることができる。

【0015】また、前記脱水・脱ガス処理を真空、200℃～500℃の雰囲気中で1.5時間～5時間行くと

もに、上述したマスクを介してのエキシマレーザ光の照射を行うことによって、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理時における下部電極のエッジ部分からのガスの放出をさらに確実に低減することができる。

【0016】また本発明は、前記下部電極は、透明導電性材料から成ることを特徴とする。

【0017】本発明に従えば、下部電極を透明導電材料で形成した場合であっても、上述したような本発明の製造方法によって、透明導電材料から成る下部電極から予めガスを放出させるので、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理時における下部電極からのガスの放出を低減することができ、EL発光層の剥離を防止することができる。

【0018】また本発明は、前記下部電極は、金属材料から成ることを特徴とする。

【0019】本発明に従えば、下部電極を金属材料で形成した場合、アニール処理時に照射したエキシマレーザ光が下部電極と第1絶縁層との界面で反射して、EL発光層に再び入射する。したがって、EL発光層へ入射するエキシマレーザ光量が増大し、効率よくアニール処理を施すことができる。このような場合であっても、上述したような本発明の製造方法によって、下部電極から予めガスを放出させるので、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理時における下部電極からのガスの放出を低減することができ、EL発光層の剥離を防止することができる。

【0020】また本発明は、上述のうちのいずれか1つに記載の製造方法によって作製されたことを特徴とする薄膜EL素子である。

【0021】本発明に従えば、EL発光層の剥離がなく、高輝度な薄膜EL素子を提供することができる。なお、特に構造上の改善を行わず、上述したような脱水・脱ガス処理工程を実施しなかった場合、EL発光層の剥離が顕著となり、薄膜EL素子を作製することができない。

【0022】

【発明の実施の形態】図1は、薄膜EL素子1の本発明の実施の一形態である製造方法を示す工程図である。図2は、一般的な薄膜EL素子1の一部分を切欠いて示す斜視図である。薄膜EL素子1は、絶縁性を有するガラス基板2の上に、帯状の下部電極3、第1絶縁層4、EL発光層5、第2絶縁層6および下部電極3とは直交する方向の帯状の上部電極7を形成して構成される。このような構成の薄膜EL素子1では、上部および下部電極7、3の間に電圧を印加することによって電極間に配置されるEL発光層5が発光し、電圧印加のための電極7、3を選択することによってドットマトリクス表示が行われる。

【0023】薄膜EL素子1の本発明に基づく製造方法は工程a1～a7から成る。まず工程a1では、ガラス

基板2の上に下部電極3が形成される。下部電極3は、ITO（インジウム錫酸化物）などの透明導電材料をガラス基板2の上の全面に100nm～200nmの膜厚に形成し、所定の電極形状にパターンニングして形成される。

【0024】次の工程a2では、脱水・脱ガス処理が実施される。脱水・脱ガス処理では、工程a1が終了した基板が、真空雰囲気、200℃～500℃の温度に、

1. 5時間～5時間曝される。これによって、下部電極3のエッジ部分からガスが放出される。

【0025】脱水・脱ガス処理が終了した次の工程a3では、第1絶縁層4が形成される。第1絶縁層4は、下部電極3を覆うガラス基板2の上の全面に形成される。第1絶縁層4は、たとえば Al_2O_3 、 SiO_2 および TiO_2 などの酸化物または Si_3N_4 などの窒化物から成る。

【0026】続いて工程a4では、第1絶縁層4の上に母材と発光中心とを含有するEL発光層5が電子ビーム蒸着法などによって形成される。たとえば、母材としてはZnS、ZnSeおよびSrSが用いられ、発光中心としてのMnなどが微量に添加される。

【0027】次の工程a5では、第2絶縁層6が形成される。第2絶縁層6はEL発光層5の上の全面に形成される。第2絶縁層6は、第1絶縁層4と同様の酸化物または窒化物から成る。

【0028】次の工程a6では、EL発光層5の結晶性を向上するためにアニール処理が実施される。アニール処理は、エキシマレーザ光を照射することによって行われる。エキシマレーザ光の照射は、図3に示されるようなエキシマレーザ光照射装置11を用いて行われる。エキシマレーザ光照射装置11は、レーザ放出機構12と、予備電離用X線発生機構13とから成る。レーザ放出機構12の対向して配置される放電電極14、15に向けて、予備電離用X線発生機構13からX線が照射される。レーザ放出機構12から出力されたエキシマレーザ光16は、被処理基板8に向けて照射される。被処理基板8とは、前記ガラス基板2の上に下部電極3、第1絶縁層4およびEL発光層5までが形成された基板であり、最表面のEL発光層5に向けて照射される。たとえば、レーザ出力が15Jで、パルス幅が200nsのエキシマレーザ光照射装置11が使用され、エキシマレーザ光はアッテネータによって所定のエネルギー密度とされて、所定回数照射される。照射は、たとえば大気圧雰囲気または真空雰囲気にて、エネルギー密度を150mJ/cm²～400mJ/cm²に設定して実施される。

【0029】アニール処理が終了した次の工程a7では、第2絶縁層6の上に上部電極7が形成される。上部電極7は、Alなどの金属材料を第2絶縁層6の上の全面に形成し、所定の電極形状にパターンニングして形成される。

【0030】図4(A)は、工程a2の脱水・脱ガス処理を行わなかったときのエキシマレーザ光の照射後の基板表面を示す写真であり、図4(B)は脱水・脱ガス処理を行ったときのエキシマレーザ光の照射後の基板表面を示す写真である。なお、エキシマレーザ光のエネルギー密度を250mJ/cm²とした場合を示している。図4(A)から、脱水・脱ガス処理を行わなかった場合では、下部電極3のエッジ部分、すなわち段差部分で上層のEL発光層5が剥離するので、薄膜EL素子を形成することができなかった。さらに、300mJ/cm²にエネルギー密度を高めると、EL発光層5の剥離はさらに顕著であった。なお、剥離が発生したEL発光層の上に上部電極を形成した場合、絶縁破壊を引き起こし、薄膜EL素子が破壊してしまう。一方、図4(B)から、脱水・脱ガス処理を行った場合では、下部電極3のエッジ部分でのEL発光層5の剥離が低減していた。

【0031】図5は、脱水・脱ガス処理およびエキシマレーザ光の照射を行って作製した薄膜EL素子1の輝度の経時変化を、エキシマレーザ光の照射回数毎に示すグラフである。エキシマレーザ光のエネルギー密度を175mJ/cm²として、0（未照射）、1、2および4回照射した。未照射、1回および2回照射ではほとんど同じ輝度であったが、4回照射ではさらに高い輝度を得られた。脱水・脱ガス処理を行うことによって、より高いエネルギーのエキシマレーザ光を照射することが可能となり、さらに高い輝度を得ることができた。

【0032】なお、薄膜EL素子1では、下部電極3をITOなどの透明導電材料をガラス基板2の上の全面に100nm～200nmの膜厚に形成し、所定の電極形状にパターンニングして形成したけれども、MoやTaなどの金属材料をガラス基板2の上の全面に200nm～600nmの膜厚に形成し、所定の電極形状にパターンニングして形成しても構わない。このように下部電極3を金属材料で構成すると、アニール処理時に照射したエキシマレーザ光が下部電極3と第1絶縁層4との界面で反射してEL発光層5に再入射する。したがって、EL発光層5に入射するエキシマレーザ光量が増加し、効率よくEL発光層5をアニール処理して結晶性を改善することができ、高い輝度を得ることができる。

【0033】薄膜EL素子の本発明に基づく製造方法では、アニール処理時に著しく高い温度に曝されないの、下部電極3を構成する金属材料としては、上述したMoやTaなどの高融点材料だけでなく低融点材料を用いることも可能である。

【0034】また、前記工程a6のエキシマレーザ光の照射をマスク介して行うことも本発明の範囲に属するものである。図6は、マスク21を用いたエキシマレーザ光16の照射を示す図である。マスク21は、ガラスなどの透光性基板22の表面にCrなどの遮光材料23を所定形状にパターンニングして構成され、遮光領域21

10

20

30

40

50

aと透光領域21bとを有する。前記透光材料23は、被処理基板8、すなわちガラス基板2の上に帯状の下部電極3、第1絶縁層4およびEL発光層5までが形成された基板8に対して、隣接する下部電極3の間の領域および下部電極3の周縁領域にはエキシマレーザ光16が照射されず、それ以外の領域、すなわち下部電極3の周縁領域を除く領域にはエキシマレーザ光16が照射されるように、パターンニングされる。このようなマスク21としては、たとえば電極3、7のパターンニング時に用いられるマスクを兼用して用いることができる。

【0035】下部電極3の前記周縁領域とは、たとえば下部電極3のエッジから内方に向けて10μmの幅を有する領域である。下部電極3の段差が数μm程度であるので周縁領域の幅を10μmとしたが、周縁領域の幅は10μmに限るものではなく、たとえば下部電極3の段差の傾斜が急峻な場合には10μm以下とし、緩やかな場合には10μm以上としても構わない。

【0036】マスク21を介してエキシマレーザ光16を照射することによって、下部電極3のエッジ部分にはエキシマレーザ光16が照射されない。したがって、エキシマレーザ光の照射時に下部電極3のエッジ部分からのガスの放出を防止することができる。したがって、EL発光層5の下部電極3のエッジ部分からの剥離を防止することができる。

【0037】また、本実施形態では、工程a5で第2絶縁層6を形成した後に、工程a6でエキシマレーザ光の照射によるアニール処理を実施したが、工程a4でEL発光層5を形成しながらエキシマレーザ光の照射によるアニール処理を実施しても構わない。また、工程a5、a6を入れ換えて、エキシマレーザ光の照射によるアニール処理を実施した後に、第2絶縁層6を形成しても構わない。

【0038】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、下部電極を形成し、脱水・脱ガス処理を行った後、第1絶縁層、EL発光層、第2絶縁層、上部電極が形成され、EL発光層の形成中または形成後においてエキシマレーザ光を照射することによってEL発光層がアニール処理されて結晶性が改善される。脱水・脱ガス処理によって下部電極から予めガスを放出した後、エキシマレーザ光が照射されるので、エキシマレーザ光照射時の下部電極からのガスの放出が低減し、EL発光層の下部電極からの剥離を防止することができる。したがって、EL発光層を剥離することなく高い輝度特性を得ることができ、また製造プロセス温度の低温化および短縮化が図れ、製造コストを低減することが可能となる。

【0039】また本発明によれば、特に、真空、200℃～500℃の雰囲気、1.5時間～5時間、脱水・脱ガス処理を行うことによって、下部電極からガスを良好に放出させることができ、エキシマレーザ光の照射時

の下部電極からのガスの放出を確実に低減することができる。

【0040】また本発明によれば、特に、隣接する下部電極間の領域および各下部電極の周縁領域へのエキシマレーザ光の照射を遮断するマスクを介して、エキシマレーザ光を照射することによって、下部電極のエッジ部分にエキシマレーザ光を照射しないようにして、ガスの放出を確実に低減することができる。

【0041】また本発明によれば、特に、下部電極を透明導電性材料で構成した場合であっても、透明導電材料から成る下部電極から予めガスを放出させるので、エキシマレーザ光の照射時の下部電極からのガスの放出を低減することができ、EL発光層の剥離を防止することができる。

【0042】また本発明によれば、特に、下部電極を金属材料で構成した場合、照射したエキシマレーザ光が下部電極と第1絶縁層との界面で反射し、EL発光層に入射するエキシマレーザ光量が増大し、効率よくアニール処理を施すことができる。このような場合であっても、金属材料から成る下部電極から予めガスを放出させるので、エキシマレーザ光の照射時の下部電極からのガスの放出を低減することができ、EL発光層の剥離を防止することができる。

【0043】また本発明によれば、上述したような製造方法によって作製された薄膜EL素子は、EL発光層の剥離がなく、高輝度が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】薄膜EL素子1の本発明の実施の一形態である製造方法を示す工程図である。

【図2】薄膜EL素子1の一部分を切欠いて示す斜視図である。

【図3】エキシマレーザ光照射装置11を示す図である。

【図4】エキシマレーザ光照射後の基板表面を示す図であり、図4(A)は脱水・脱ガス処理を行わなかったときを、図4(B)は脱水・脱ガス処理を行ったときをそれぞれ示す図である。

【図5】脱水・脱ガス処理およびエキシマレーザ光を照射して作製した薄膜EL素子の輝度の経時変化を、エキシマレーザ光の照射回数毎に示すグラフである。

【図6】マスク21を用いたエキシマレーザ光の照射を示す図である。

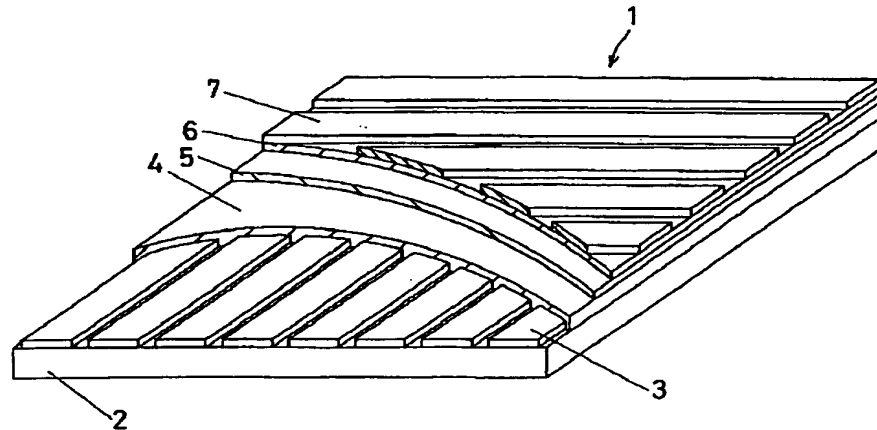
【図7】薄膜EL素子1の従来技術である製造方法を示す工程図である。

【符号の説明】

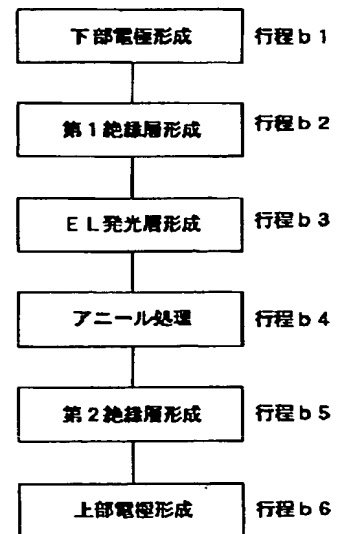
- 1 薄膜EL素子
- 2 ガラス基板
- 3 下部電極
- 4 第1絶縁層
- 5 EL発光層

- * 2 1 マスク
- 2 1 a 遮光領域
- 2 1 b 透光領域
- 2 2 透光性基板
- * 2 3 遮光材料

【圖2】

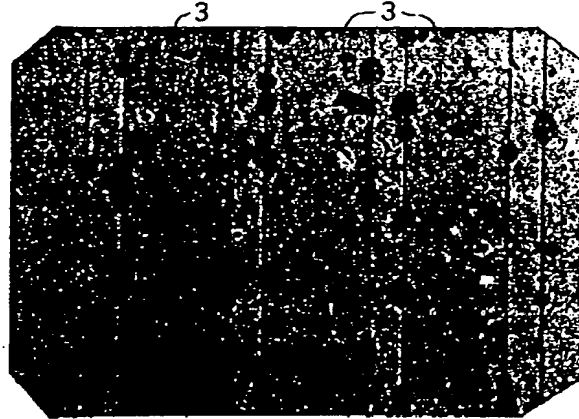


【図3】

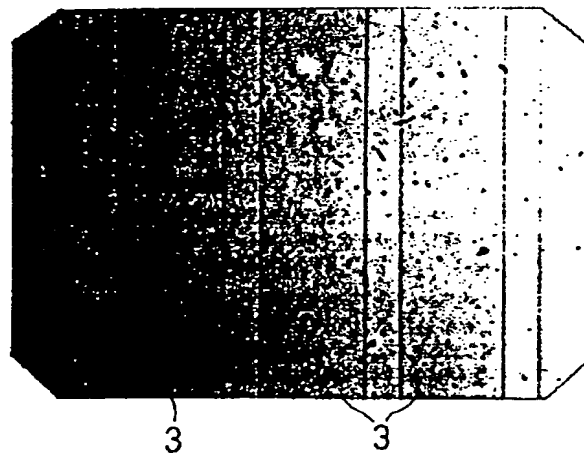


【図4】

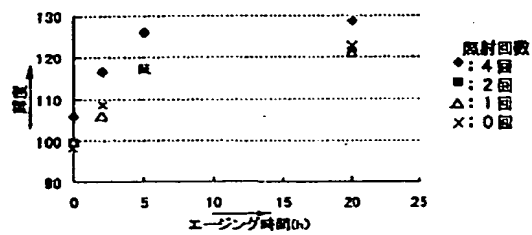
(A) 下部透明電極膜構造の EL 素子(改善前)に $250\text{mJ}/\text{cm}^2$ にて照射



(B) 下部透明電極膜構造の EL 素子(改善後)に $250\text{mJ}/\text{cm}^2$ にて照射



【図5】



【図6】

